

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-67492

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月9日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	F I	
H 0 5 H 1/46		H 0 5 H 1/46	B
C 2 3 C 16/50		C 2 3 C 16/50	
C 2 3 F 4/00		C 2 3 F 4/00	D
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	
21/3065		21/302	B
審査請求 未請求 請求項の数11 OL (全 18 頁)			

(21) 出願番号 特願平10-144831

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月26日

(31) 優先権主張番号 特願平9-140527

(32) 優先日 平 9 (1997) 5月29日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 松本 直樹

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

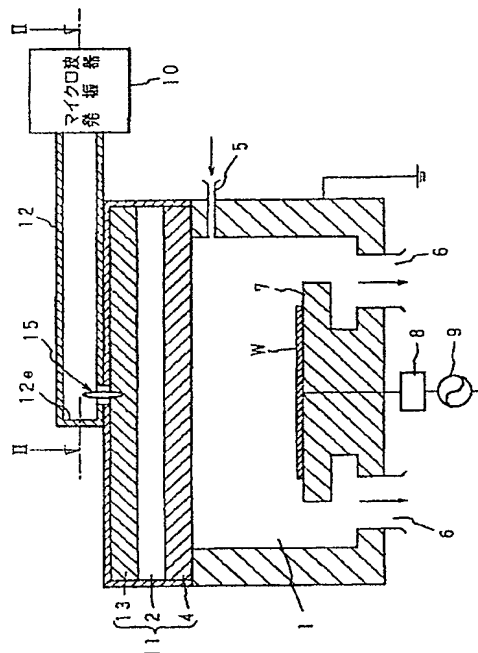
(74) 代理人 弁理士 河野 登夫

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 マイクロ波の伝搬の均一化及び小型化を図ったプラズマ処理装置。

【解決手段】 円筒形状を有する反応室1の上側には、エアギャップ2を介してマイクロ波導入室4と誘電体線路13とが対向配置されたマイクロ波導入部11が配されている。マイクロ波導入室11の上面には誘電体線路13と平行に導波管12が配され、アンテナ部15を介して連結されている。アンテナ部15は導波管12の反射端12eから4分の1マイクロ波管内波長分だけ離れた位置に貫設されており、導波管12の下側で金属板を介して配された誘電体線路13の中心部と、アンテナ部15によって連結されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マイクロ波発振器と、該マイクロ波発振器からのマイクロ波を伝送する導波管と、該導波管に高周波的に結合された誘電体線路と、該誘電体線路に対向配置されたマイクロ波導入窓と、該マイクロ波導入窓から導入されるマイクロ波によりプラズマが生ぜしめられる反応室とを備えたプラズマ処理装置において、前記誘電体線路は、その線路方向を前記導波管の管軸方向と平行に配しており、前記導波管から前記誘電体線路へのマイクロ波の導入が前記管軸方向及び線路方向に交わる方向になされるべく、前記導波管と前記誘電体線路とを結合するためのアンテナ部を備えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記導波管内の少なくとも前記アンテナ部近傍に、誘電体を装入してある請求項1記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記アンテナ部は導体棒で構成されており、前記導波管へのマイクロ波導入端と異なる側の端部から実質的に距離だけ離隔した位置に設けてある請求項1又は2記載のプラズマ処理装置。

但し、 $L = (1/4 + n/2) \times \lambda_g$

n は整数

$n \geq 0$

λ_g はマイクロ波の導波管内波長

【請求項4】 前記アンテナ部は前記導波管内と誘電体線路とを貫通せしめるスリットで構成されており、前記導波管へのマイクロ波導入端と異なる側の端部から実質的に距離だけ離隔した位置に設けてある請求項1又は2記載のプラズマ処理装置。

但し、 $L = n/2 \times \lambda_g$

n は整数

$n \geq 1$

λ_g はマイクロ波の導波管内波長

【請求項5】 前記誘電体線路と前記マイクロ波導入窓との間隙を拡縮せしめる手段を備える請求項1又は2記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 前記誘電体線路は、前記線路方向の寸法がこれに平行な前記反応室の寸法よりも大きい請求項1又は2記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 前記アンテナ部は、前記誘電体線路の前記導波管との平行面の略中央部に設けてある請求項1又は2記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 前記誘電体線路は、その厚み寸法が前記平行面の中央部で大きく、周辺部で小さい請求項7記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 前記マイクロ波導入窓は、その厚み寸法が前記誘電体線路との平行面の中央部で大きく、周辺部で小さい請求項7記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 前記反応室は円筒形状を有し、前記誘電体線路及び前記マイクロ波導入窓は円板形状を有する

請求項7、8又は9のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 請求項5記載のプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法であって、前記拡縮手段を用いて、前記誘電体線路と前記マイクロ波導入窓との間隙を所定の長さに設定する過程と、前記反応室内を排気し、反応ガスを前記反応室内に供給する過程と、マイクロ波が前記導波管に導入され、前記反応室内に伝搬される過程と、前記マイクロ波により前記反応室内にてプラズマが発生した後に、前記拡縮手段を用いて前記間隙を拡大する過程とを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマを利用して、半導体素子基板、液晶ディスプレイ用ガラス基板等にエッチング、アッシング又はCVD等の処理を施す装置及び方法に関し、特にマイクロ波の導入によりプラズマを生ぜしめるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】反応ガスに外部からエネルギーを与えて生じるプラズマは、LSI、LCD等の製造プロセスにおいて広く用いられている。特に、ドライエッチングプロセスにおいて、プラズマの利用は不可欠の基本技術となっている。一般にプラズマを生ぜしめるための励起手段には、2.45GHzのマイクロ波を用いる場合と、13.56MHzのRF(Radio Frequency)を用いる場合とがある。前者は後者に比べて高密度のプラズマが得られるとともに、プラズマ発生のために電極を必要とせず、電極からのコンタミネーションを防止できるという利点がある。しかしながら、マイクロ波を用いたプラズマ処理装置にあっては、プラズマ領域面積を広くし、且つ密度が均一になるようにプラズマを生ぜしめることは困難であり、大口径の半導体基板、LCD用ガラス基板等の処理を行なうのには適切ではなかった。

【0003】これを解決するために、本願出願人は大面積の領域に均一にマイクロ波プラズマを生ぜさせることが可能なプラズマ処理装置を特開昭62-5600号公報、特開昭62-99481号公報等において提案している。これらのプラズマ処理装置は、マイクロ波発振器を接続した導波管から導入されたマイクロ波が誘電体線路を伝搬し、誘電体線路の下側に所定間隔を有して対向配置されたマイクロ波導入窓を介してマイクロ波が反応室内に導入される構成になっている。マイクロ波導入窓からマイクロ波が伝搬されることにより、反応室内に均一密度のプラズマを生ぜしめることが可能となる。また、特開平8-111297号公報においても同様の効果を得るべくプラズマ処理装置が提案されており、この装置は誘電体線路を備えておらず、導波管から直接マイクロ波導入窓に導入さ

れたマイクロ波により、電界が反応室内に供給されるように構成されている。但し、この装置は、マイクロ波を直接マイクロ波導入窓から反応室へ導入する構成であるので、マイクロ波と発生するプラズマとの結合が強く、プラズマの制御が難しいという問題がある。

【0004】図13は、本願出願人により提案された特開昭62-5600号公報、特開昭62-99481号公報と同タイプのプラズマ処理装置の構造を示した縦断面図であり、図14はその平面図である。図13は図14に示すXI-XI線から見た断面を示している。図13に示すように、プラズマ処理装置は、円筒形状を有するアルミニウム製の反応室1、該反応室1の上側に配されたマイクロ波導入室11、該マイクロ波導入室のマイクロ波導入端に接続された導波管12、該導波管12のマイクロ波導入側に接続されたマイクロ波発振器10、及び反応室1内に配設された試料台7を備えて構成されている。マイクロ波導入室11は、間隙を有して平行に配された誘電体線路3及びマイクロ波導入窓4と、その上面及び外周面を覆う金属壁とで構成されており、マイクロ波導入窓4の下面を反応室1に臨ませて気密状態を保って連結されている。

【0005】マイクロ波発振器10はマイクロ波の整合をとるためのチューナを内蔵しており、金属製の導波管12の一端側に接続されている。導波管12の他端にはフッ素樹脂製の誘電体線路3が連結されている。図14に示すように、誘電体線路3は、マイクロ波の伝送効率を高め、誘電体線路内を均一に伝搬させるべく、平面視が略五角形の板形状を有し、導波管12側に幅が狭まるテーパー部3aを有している。誘電体線路3は略水平に配され、テーパー部3aの先端部が導波管12内に嵌入され、固定されている。誘電体線路3の下側には所定間隔（エアギャップ2）を離隔して略平行にマイクロ波導入窓4が配されている。マイクロ波導入窓4は石英（SiO₂）、アルミナ（Al₂O₃）又は窒化アルミニウム（AlN）のような誘電体で形成され、円板形状を有している。

【0006】反応室1内にはマイクロ波導入窓4の下方に試料台7が配されており、試料台7上に例えば半導体基板のような試料を載置してプラズマ処理するようになっている。試料台7にはマッチングボックス8を介して高周波電源9が接続されている。また、反応室1の側壁には反応ガスを導入するための導入口5が形成されており、下部壁には反応室1内を真空排気するための排気口6が形成されている。排気口6には図示しない排気装置が接続されている。

【0007】このように構成されたマイクロ波プラズマ処理装置を用いて半導体基板Wの表面にエッチング処理を施す場合は、反応室1内を所望の圧力に調整した後、反応ガスを導入する。次いで、マイクロ波発振器10からマイクロ波を発振させ、導波管12を介して誘電体線

路3に導入する。このとき、テーパー部3aを伝搬することによりマイクロ波は誘電体線路3内で均一に広がる。そして、マイクロ波は誘電体線路3内を線路方向に伝搬し、金属壁で覆われた端部にて反射され、誘電体線路3内に定在波を形成する。このようにマイクロ波が誘電体線路3を線路方向に伝搬する間に誘電体線路3の下方に漏れ電界が形成され、この漏れ電界がエアギャップ2及びマイクロ波導入窓4を透過して反応室1内に導入される。即ち、マイクロ波が反応室1内に伝搬する。これにより反応室1内にプラズマが生成され、プラズマによって半導体基板Wの表面がエッチングされる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】以上のような従来のプラズマ処理装置では、導波管12の線路方向と誘電体線路3の管軸方向とが同高さで連なる態様で連結されている。従って、マイクロ波発振器10と導波管12と誘電体線路3のテーパー部3aとが、反応室1の外周側に突き出した構造となり、この突出部分のために水平方向に大きなスペースが必要となる問題があった。特に、テーパー部3aは、導波管12と誘電体線路3との寸法の相違に起因してマイクロ波の整合を取るために設けてあり、反応室1内に均一にマイクロ波を伝搬させるためには、単純に長さを短くすることはできないという問題があった。

【0009】また、上述したように反応室1は円筒形状を有する場合があるのに対し、誘電体線路3は矩形板状を有している。大口径の試料に処理を施す際には大きなサイズの反応室1を用いるが、大径の反応室1内にマイクロ波を導入した場合には、反応室1と誘電体線路3の形状の違いによりマイクロ波が径方向に均一に伝搬し難くなり、これにより反応室1内でのプラズマの均一化が困難になる虞があるという問題があった。

【0010】本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、導波管と誘電体線路とを平行に配し、アンテナ部を介して、マイクロ波が線路方向に交わる方向から導入されるように結合することにより、両者各部の寸法の相違に起因するマイクロ波の整合のための領域を省略して小型化されたプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0011】また、誘電体線路と反応室とを平面視で同形状に形成することにより、大口径の反応室内に均一にプラズマを生ぜしめるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0012】さらに、反応室内のプラズマの状態に応じて、誘電体線路とマイクロ波導入窓との間の間隙寸法を可変調整することにより、容易にプラズマを点火し、また均一にプラズマを発生せしめるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】第1発明に係るプラズマ

処理装置は、マイクロ波発振器と、該マイクロ波発振器からのマイクロ波を伝送する導波管と、該導波管に高周波的に結合された誘電体線路と、該誘電体線路に対向配置されたマイクロ波導入窓と、該マイクロ波導入窓から導入されるマイクロ波によりプラズマが生ぜしめられる反応室とを備えたプラズマ処理装置において、前記誘電体線路は、その線路方向を前記導波管の管軸方向と平行に配しており、前記導波管から前記誘電体線路へのマイクロ波の導入が前記管軸方向及び線路方向に交わる方向になされるべく、前記導波管と前記誘電体線路とを結合するためのアンテナ部を備えることを特徴とする。

【0014】第1発明にあっては、導波管を伝搬したマイクロ波は、アンテナ部を介して誘電体線路に線路方向に交わる方向から導入される。そして、マイクロ波は誘電体線路を線路方向に伝搬し、誘電体線路の下面から表面波電界による伝搬モードによってマイクロ波導入窓に向かう方向に伝搬される。導波管と誘電体線路とは平行で、且つ線路方向に交わる方向に位置しているので、導波管の長さ方向への突出長さが短くなる。特に、導波管と誘電体線路との結合をアンテナ構造としたので、導波管と誘電体線路との寸法の相違に起因する整合のための領域を必要とせず、装置の小型化が図られる。

【0015】第2発明に係るプラズマ処理装置は、第1発明において、前記導波管内の少なくとも前記アンテナ部近傍に、誘電体を装入してあることを特徴とする。

【0016】第2発明にあっては、導波管内に誘電体を装入することによりアンテナ部の周囲の電位が下がる。これにより、装置に高電力を供給した際に頻繁に生じる異常放電を防止することができ、マイクロ波電力を安定に供給できる。また、導波管内に誘電体を装入することにより特性インピーダンスが低下する。これにより、導波管壁面に形成される電流定在波の腹の位置にアンテナ部を、例えばスリットで設けた場合には、導波管内に誘電体を装入していない場合よりもスリット開口の長辺間の電位差が大きくなる。従って、同一電力の供給で効果的に高密度プラズマを生成する。

【0017】第3発明に係るプラズマ処理装置は、第1発明において、前記アンテナ部は導体棒で構成されており、前記導波管へのマイクロ波導入端と異なる側の端部から実質的に距離だけ離隔した位置に設けてあることを特徴とする。但し、 $L = (1/4 + n/2) \times \lambda_g$ 、 n は整数、 $n \geq 0$ 、 λ_g はマイクロ波の導波管内波長である。

【0018】第3発明にあっては、導体棒で形成されたアンテナ部を、導波管のマイクロ波反射端からマイクロ波波長の $(1/4 + n/2)$ 倍の位置、即ち導波管内の電圧定在波の最大位置（腹の位置）に設けているので、マイクロ波がさらに効率良く導波管から誘電体線路に供給される。

【0019】第4発明に係るプラズマ処理装置は、第1

発明において、前記アンテナ部は前記導波管と誘電体線路とを通貫せしめるスリットで構成されており、前記導波管へのマイクロ波導入端と異なる側の端部から実質的に距離だけ離隔した位置に設けてあることを特徴とする。但し、 $L = n/2 \times \lambda_g$ 、 n は整数、 $n \geq 1$ 、 λ_g はマイクロ波の導波管内波長である。

【0020】第4発明にあっては、スリットで形成されたアンテナ部を、導波管の反射端からマイクロ波波長の $(n/2)$ 倍の位置、即ち導波管壁面の電流定在波の腹の位置に設けているので、マイクロ波が導波管からスリットを介して誘電体線路にさらに効率良く供給される。

【0021】第5発明に係るプラズマ処理装置は、第1又は第2発明において、前記誘電体線路と前記マイクロ波導入窓との間隙を拉縮せしめる手段を備えることを特徴とする。また、第11発明に係るプラズマ処理方法は、第5発明のプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法であって、前記拉縮手段を用いて、前記誘電体線路と前記マイクロ波導入窓との間隙を所定の長さに設定する過程と、前記反応室内を排気し、反応ガスを前記反応室内に供給する過程と、マイクロ波が前記導波管に導入され、前記マイクロ波が前記反応室内に伝搬される過程と、前記マイクロ波により前記反応室内にてプラズマが発生した後に、前記拉縮手段を用いて前記間隙を拡大する過程とを有することを特徴とする。

【0022】第5発明及び第11発明にあっては、誘電体線路とマイクロ波導入窓との間の間隙をプラズマが発生するまでは狭くして反応室へのマイクロ波の伝搬を強力にし、プラズマの点火を容易にする。プラズマが発生した後、間隙寸法を拡げて誘電体線路を伝搬するマイクロ波と反応室内のプラズマとの結合を弱めて、マイクロ波が誘電体線路に均一に拡がり、その下面に形成される表面波電界を均一にすることができる。これにより、反応室の中央部に集中することなく周辺部にも拡がった径方向に均一なプラズマが発生する。

【0023】第6発明に係るプラズマ処理装置は、第1又は第2発明において、前記誘電体線路は、前記線路方向の寸法がこれに平行な前記反応室の寸法よりも大きいことを特徴とする。

【0024】第6発明にあっては、誘電体線路の線路方向の寸法が、これに平行な反応室の寸法よりも大きい。通常、伝搬するマイクロ波の表面波電界の強度は、誘電体線路の中心部が高く周辺部が低い分布を示す。従って、マイクロ波の表面波電界の電界強度が高い領域だけを選択的にプラズマ発生に利用できるため、反応室内のプラズマの均一化、及び試料の処理速度の高速化が図られる。

【0025】第7発明に係るプラズマ処理装置は、第1又は第2発明において、前記アンテナ部は、前記誘電体線路の前記導波管との平行面の略中央部に設けてあることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【0026】第7発明にあっては、マイクロ波が誘電体線路の略中央部から導入され、周辺部へ伝搬する。電界分布が均一で安定性の高いマイクロ波の伝搬モードである円形TE₁₁モード、TE₀₁モード等は、中央部の電界強度が強いモードである。これらの伝搬モードのマイクロ波が誘電体線路の中央から導入されることにより、電界分布が均一で安定性が高い表面波電界モードのマイクロ波が反応室内に伝搬される。

【0027】第8発明に係るプラズマ処理装置は、第7発明において、前記誘電体線路は、その厚み寸法が前記平行面の中央部で大きく、周辺部で小さいことを特徴とする。また第9発明に係るプラズマ処理装置は、第7発明において、前記マイクロ波導入窓は、その厚み寸法が前記誘電体線路との平行面の中央部で大きく、周辺部で小さいことを特徴とする。

【0028】第8発明及び第9発明にあっては、誘電体線路、マイクロ波導入窓の厚みが中央部が厚く、周辺部が薄くなるような形状に形成してある。試料の大口径化とともに反応室が大口径になると、マイクロ波は球面波で伝搬し、伝搬速度（位相速度）は中心部が速く、周辺部は遅くなる。これにより、マイクロ波導入窓とプラズマとの境界面又は反応室内の試料台面で反射するマイクロ波と、マイクロ波導入窓から導入されるマイクロ波とが干渉して形成されるマイクロ波定在波の強度分布は、重ね合わせの原理により同一高さでの中心部と周辺部とで位相が反転する場合がある。このとき、プラズマの均一性が悪いことが経験的に判っている。従って、誘電体線路、マイクロ波導入窓の厚みを中心部で厚く、周辺部で薄くすることにより、マイクロ波の実効距離（光路）が補償され、マイクロ波の伝搬が平面波状に保たれて、反応室内のプラズマが均一化される。

【0029】第10発明に係るプラズマ処理装置は、第7、8又は9発明において、前記反応室は円筒形状を有し、前記誘電体線路及び前記マイクロ波導入窓は円板形状を有することを特徴とする。

【0030】第10発明にあっては、反応室は円筒形状を有し、誘電体線路及びマイクロ波導入窓を円板形状に形成してある。従って、誘電体線路の略中央部からマイクロ波を導入することにより、誘電体線路、マイクロ波導入窓及び反応室も導波管の一種と見なすことができ、マイクロ波は進行方向の軸対称に伝搬される。その結果、表面波電界モードのマイクロ波は反応室内へ均一に伝搬される。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明をその実施の形態を示す図面に基づき具体的に説明する。

実施の形態1. 図1は本発明の実施の形態1のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図であり、図2は図1のII-II線から見た横断面図を示している。図1に示すように、プラズマ処理装置は、円筒形状を有する例えばアル

ミニウム製の反応室1、該反応室1の上側に配されたマイクロ波導入室11、該マイクロ波導入室11の上面に平行に配され、後述するアンテナ部15を介して連結された導波管12、該導波管12の一端側に接続されたマイクロ波発振器10、及び反応室1内に配設された試料台7を備えて構成されている。マイクロ波導入室11は、所定の間隙（エアギャップ2）を有して上側及び下側に平行に対向配置された、円板形状を有する誘電体線路13及びマイクロ波導入窓4と、これらの外周部及び誘電体線路13の上面を覆う金属壁とで構成されている。反応室1は、マイクロ波導入窓4により気密に封止されている。

【0032】マイクロ波発振器10はマイクロ波の整合をとるためのチューナを内蔵しており、略水平に配された導波管12の一端側に接続されている。導波管12は金属製であり、他端側は閉塞され、伝搬するマイクロ波がこの端部（反射端12e）で反射する。導波管12の底面には、反射端12eから4分の1マイクロ波波長（ $\lambda g/4$ 、 λg はマイクロ波管内波長）だけ離れた位置に軸中心を有してアンテナ部15が貫設され、さらにアンテナ部15の先端部分が導波管12の下側で金属壁を介して配された誘電体線路13の上面の略中心部分に貫設されており、導波管12と誘電体線路13とがアンテナ部15によって連結されている。なお、アンテナ部15の配設位置は、導波管12の反射端12eから $\lambda g/4$ だけ離れた位置だけに限らないが、 $(1/4 + n/2) \times \lambda g$ （ n は整数、 $n \geq 0$ 、 λg はマイクロ波管内波長）だけ離れた位置に設けてあることが好ましい。

【0033】誘電体線路13は例えばテフロン（登録商標）のようなフッ素樹脂製であり、図2に示すように円板形状を有し、線路方向を略水平、即ち導波管12の管軸方向に平行に配してある。上述したように、誘電体線路13の上面の略中心部分には、前記アンテナ部15が植設されている。図3はアンテナ部15により接続された導波管12と誘電体線路13との結合部分を拡大して示した断面図である。アンテナ部15は、例えばアルミニウムのような金属製の導体棒15aと、石英系又はアルミナ系のセラミックのような絶縁体からなる環状の碍子15bとで構成されている。導波管12の底面及び金属壁にはアンテナ部15の差込み用の孔が形成されており、誘電体線路13の上面には導体棒15aの固定用の穴が形成されている。図3に示すように、導体棒15aの外周面には長さ方向略中央に碍子15bが嵌合され、碍子15bを導波管12の底面及び金属壁の孔に嵌め込み、導体棒15aの下部を誘電体線路13の孔に差込んで、導体棒15aの上部を導波管12内で立設せしめた態様でアンテナ部15は固定されている。

【0034】誘電体線路13の下側には所定間隔（エアギャップ2）だけ離隔してマイクロ波導入窓4が略水平、即ち誘電体線路13に平行に配されている。上述し

た如く円板形状を有するマイクロ波導入窓 4 は、耐熱性とマイクロ波透過性とを有し、且つ誘電損失が小さい石英 (SiO_2)、アルミナ (Al_2O_3) 又は窒化アルミニウム (AlN) 等の誘電体で形成されている。

【0035】反応室 1 内には試料台 7 がマイクロ波導入窓 4 の下方に配してあり、例えば半導体基板 W のような試料をマイクロ波導入窓 4 に臨ませて試料台 7 上に載置し、例えばエッチングのようなプラズマ処理をするようになっている。エッチング形状を制御するために、試料台 7 にはマッティングボックス 8 を介して高周波電源 9 が接続されている。反応室 1 の側壁には反応ガスを導入するための導入口 5 が形成されており、下部壁には反応室 1 内を真空排気するための排気口 6 が形成されている。排気口 6 には図示しない排気装置が接続されている。また、反応室 1 の周囲には図示しない溶媒通路が設けられており、反応室 1 内の温度が調整可能になっている。

【0036】このような構成のプラズマ処理装置は、導波管 12 の管軸方向と誘電体線路 13 の線路方向とを互いに平行に配しており、また、誘電体線路 13 と導波管 12 とは上下に位置するように連結されている。上述したプラズマ処理装置は、例えば反応室 1 の内径が直径 340mm、誘電体線路 13 は直径 440mm、厚み 20mm、マイクロ波導入窓 4 は直径 440mm、厚み 20mm、アンテナ部 15 は直径 15mm、長さ 30mm、固定位置は反射端から $\lambda g/4 = 40\text{mm}$ である。この装置を用いて直径 200mm 程度の基板を処理することが可能である。

【0037】以上の如きプラズマ処理装置を用いて、半導体基板 W にエッチング処理を施す場合は、反応室 1 内を所定の圧力に調整し、反応ガス導入口 5 から例えば C、F、及び O₂ のような反応ガスを反応室 1 内に供給する。次いでマイクロ波発振器 10 によりマイクロ波を導波管 12 に導入する。導波管 12 内を伝搬したマイクロ波は、アンテナ部 15 の導体棒 15a を介して誘電体線路 13 の中心部から導入される。このとき、アンテナ部 15 がその中心軸を導波管の反射端から $(1/4 + n/2) \times \lambda g$ (n は整数、 $n \geq 0$ 、 λg はマイクロ波管内波長) だけ離れた位置、即ち、導波管内の電圧定在波の腹の位置に設けてあるので、マイクロ波が効率良く導波管から誘電体線路に導入される。

【0038】誘電体線路 13 に導入されたマイクロ波は導波管 12 内の基本伝搬モードである矩形 TE₁₀ から誘電体線路 13 の形状で決定される伝搬モード、例えば円形 TE₁₁ モードのみ、円形 TE₀₁ モードのみ、又は円形 TE₁₁ 及び円形 TE₀₁ の混合モード等に変換される。これらの円形モードのマイクロ波は誘電体線路 13 内を中心部から周辺部へ線路方向に放射状に伝搬し、且つ、誘電体線路 13 の下面から表面波と呼ばれる電界による伝搬モードにより、マイクロ波導入窓 4 へ向かう方向に、指数関数的にマイクロ波を減少しつつ伝搬する。伝搬された表面波電界モードによるマイクロ波は

エアギャップ 2 及びマイクロ波導入窓 4 を透過して反応室 1 内に供給される。反応室 1 内では表面波電界によりプラズマが生じ、このプラズマのエネルギーにより反応ガスがイオン、ラジカル等に活性化され、イオン又はラジカルが試料台 7 上に載置された半導体基板 W に作用してエッチング処理が施される。

【0039】このように、実施の形態 1 のプラズマ処理装置は、導波管 12 側と誘電体線路 13 側とでマイクロ波導入部 (アンテナ部 15) の寸法が同程度であるので、寸法の相違に起因するマイクロ波の整合のためのテーパー部のような領域が不要となる。すなわち、実施の形態 1 のプラズマ処理装置は、導波管 12 側で形成される高電位をマイクロ波導入部 (アンテナ部 15) により引出し、誘電体線路 13 側にそのまま高電位を供給する。誘電体線路 13 内ではアンテナ部 15 から電界が広がり、誘電体線路 13 の形状に応じて決まるモードで電界分布が形成される。即ち、アンテナ部 15 の配位置により、誘電体線路 13 に所定の電界モードを形成させることができる。その結果、所定の電界モードを形成させるために、即ちマイクロ波を整合させるために従来必要であったテーパー部のような領域を不要にできる。また、導波管 12 と誘電体線路 13 とが上下に配置されているので、導波管 12 の管軸方向への突出長さが短くなり、装置の小型化が図られる。

【0040】また、誘電体線路 13 の直径寸法が反応室 1 の直径寸法よりも大きい (100mm 大) のので、誘電体線路 13 の中央領域を伝搬した表面波電界モードのマイクロ波が反応室 1 内に伝搬される。マイクロ波の電界強度 (例えば円形 TE₁₁ モード、又は円形 TE₀₁ モード) は、中心部が高く、周辺部が低い山型の分布を有するので、マイクロ波の電界強度が高い中央領域だけを選択的にプラズマ発生に利用できるため、反応室内のプラズマが均一化される。また、試料の処理速度が高速化される。

【0041】さらに、反応室 1 が円筒形であり、誘電体線路 13 及びマイクロ波導入窓 4 が円板形状を有するので、円形 TE₀₁ モードのマイクロ波が伝搬する場合は、誘電体線路 13、マイクロ波導入窓 4 及び反応室 1 を導波管の一種と見なすことができ、マイクロ波が中心軸対称に伝搬でき、表面波電界モードのマイクロ波を反応室 1 内へ均一に伝搬することができる。また、誘電体線路 14、マイクロ波導入窓 4 及び反応室 1 の径を特性インピーダンスが急変しないように設定した場合は、電力反射率をマイクロ波 (2.45GHz) 帯域で常に低く抑えることができ、電力効率がさらに向上する。

【0042】実施の形態 2. 図 4 は、実施の形態 2 のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。図 4 に示すように、プラズマ処理装置は、円筒形状を有する例えばアルミニウム製の反応室 1、該反応室 1 の上部に反応室 1 内を封止する態様にて着設された円板状のマイクロ

波導入窓4、該マイクロ波導入窓4の上側に対向配置された円板状の誘電体線路13、該誘電体線路13の上面及び外周部を固定した金属製の昇降部11a、該昇降部11aの上側で誘電体線路1と平行に配され、後述するアンテナ部15を介して誘電体線路13に連結された導波管12、該導波管の一端側に接続されたマイクロ波発振器10、及び反応室1内に配設された試料台7を備えて構成されている。

【0043】昇降部11aは昇降駆動装置16を接続しており、昇降駆動装置16の駆動により誘電体線路13、アンテナ部15、導波管12及びマイクロ波発振器10はともに上下移動する。このとき、誘電体線路13はマイクロ波導入窓4と平行を保ちつつ上下移動し、エアギャップ2の間隙寸法が調整可能となる。その他の構成は、上述した実施の形態1と同様であり、同部分に同符号を付して説明を省略する。

【0044】以上の如き構成のプラズマ処理装置を用いて、半導体ウエハWにエッチング処理を施す場合は、まず、昇降駆動装置16を駆動して昇降部11aを移動せしめ、エアギャップ2の間隙寸法を例えば7mmに調整する。次いで反応室1内を所定の圧力に調整し、反応ガス導入口5から例えばC、F、及びO₂のような反応ガスを反応室1内に供給する。そしてマイクロ波発振器10によりマイクロ波を導波管12に導入する。マイクロ波は導波管12内を伝搬し、アンテナ部15を介して誘電体線路13に中心部から導入される。誘電体線路13に導入されたマイクロ波は中心部から周辺部へ伝搬し、同時に誘電体線路13の下面から表面波電界による伝搬モードにより、マイクロ波導入窓4へ向かう方向に伝搬される。伝搬されたマイクロ波はエアギャップ2及びマイクロ波導入窓4を透過して反応室1内に導入され、反応室1内にプラズマを生ぜしめる。

【0045】反応室1内でプラズマが生じた後、昇降駆動装置16の駆動により昇降部11aを上側へ移動させる。反応室1内にてプラズマを生ぜしめつつエアギャップ2の間隙寸法を拡大し、所定の寸法に拡大終了後、昇降部11aの上昇を停止する。本実施の形態では例えば20mmまで拡大する。昇降部11aの移動停止後も引き続き試料Wにプラズマ処理を施し、所定期間後にマイクロ波発振器10からのマイクロ波の供給を停止してエッチング処理を終了する。なお、反応室1内でのプラズマ発生の検出は、例えばプラズマ発生の際の発光を光ファイバーにて検知することによりなされる。なお、プラズマが生じるまでのエアギャップ2の間隙寸法は零であっても構わない。

【0046】エアギャップ2の間隙寸法が小さい程、マイクロ波の表面波電界が強くなり、反応室1内でプラズマが生じ易くなる。また、エアギャップ2の間隙寸法が大きい程、反応室1内のプラズマが径方向に均一化される。従って本実施の形態では、反応室1内でプラズマが

生じるまではエアギャップ2の間隙寸法を小さくしてプラズマを発生し易くし、プラズマが発生した後に、間隙寸法を拡大して反応室1内のプラズマを均一化する。これにより、プラズマがマイクロ波導入部分であるアンテナ直下の位置で集中することなく、試料を均一に処理することができる。また、プラズマ発生後に、アンテナ部15をプラズマ発生領域から遠くすることにより、電力反射率を低くでき、マイクロ波電力効率が向上する。

【0047】実施の形態3. 図5は、実施の形態3のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。誘電体線路13aの形状が異なる以外は、上述した実施の形態1と同様の構成であり、同部分に同符号を付して説明を省略する。誘電体線路13aは下面側にテーパを有する円錐台形状であり、例えば上面の直径が440mm、下面の直径が100mmであり、中央部の厚みTが27mm、外周辺部の厚みtが20mmである。

【0048】以上の如き構成のプラズマ処理装置を用いて半導体基板Wを実施の形態1と同様の手順にてエッチング処理する。表面波伝搬モードのマイクロ波は誘電体線路13aから球面波状に伝搬されるので、伝搬速度（位相速度）は中央部が速く、周辺部が遅い。本実施の形態では、誘電体線路13aの厚みを中央部と周辺部とで異ならせ、マイクロ波の実効距離を中央部で長く、周辺部で短くしているため、マイクロ波の伝搬を平面波状に保つことができる。これにより、マイクロ波はプラズマ処理装置内での同一高さで同位相を有する。従って、マイクロ波導入窓4とプラズマとの境界面で反射するマイクロ波、又は反応室1内の試料台7で反射するマイクロ波と、マイクロ波導入窓4から伝搬されるマイクロ波とが干渉することにより形成されるマイクロ波定在波の強度分布は、重ね合わせの原理により同一高さで中央部と周辺部とで位相が揃う。その結果、反応室1内でマイクロ波を均一に伝搬させることが可能となり、均一なプラズマを形成することができる。

【0049】また、図6は実施の形態3の他のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。マイクロ波導入窓4aの形状が異なる以外は、上述した実施の形態1と同様の構成であり、同部分に同符号を付して説明を省略する。マイクロ波導入窓4aは上面側にテーパを有する円錐台形状であり、例えば上面の直径が100mm、下面の直径が440mmであり、中央部の厚みTが27mm、外周辺部の厚みtが20mmである。

【0050】以上の如き構成のプラズマ処理装置を用いて半導体基板Wを実施の形態1と同様の手順にてエッチング処理する。マイクロ波はマイクロ波導入窓4a内に球面波状に導入されるので、マイクロ波導入窓4内での伝搬速度（位相速度）は中央部が速く、周辺部が遅い。本実施の形態では、マイクロ波導入窓4の厚みを中央部と周辺部とで異ならせ、マイクロ波の実効距離を中央部で長く、周辺部で短くしているため、マイクロ波の伝搬

を平面波状に保つことができる。これにより、マイクロ波はプラズマ処理装置内での同一高さで同位相を有する。従って、反応室 1 内でのマイクロ波定在波の強度分布は、同一高さで中央部と周辺部とで位相が揃う。これにより、反応室 1 内でマイクロ波を均一に伝搬させることが可能となり、均一なプラズマを形成することができる。

【0051】以上の如く、実施の形態 3 のプラズマ処理装置にあっては、実施の形態 1 と同様の効果が得られ、さらに、反応室内でのプラズマのさらなる均一化が可能となり、大口径試料用の反応室を有する装置に有効である。

【0052】また、上述した実施の形態 1～3 の装置において、誘電体線路及びマイクロ波導入窓を所定の径で形成し、その間隙を所定の寸法に設定することにより、例えば円形 TE₁₁ モード、円形 TE₀₁ モード又はこれらの混合モードのような特定モードのマイクロ波を伝搬することができる。これにより、マイクロ波導入室 11 で所望の電界強度分布を得ることができ、反応室 1 内で所望のプラズマ分布を得ることができる。

【0053】図 7 は、マイクロ波の伝搬モードによる誘電体線路中の電界強度分布を示すグラフである。縦軸は電界強度を示し、横軸は誘電体線路の位置を示している。グラフに示すように、円形 TE₁₁ モードは誘電体線路の中心部分で最も高い電界強度を示し、周辺部は低い電界強度を示している。このことから、マイクロ波の伝搬モードが円形 TE₁₁ モードの場合には、上述した実施の形態 1～3 の如く、アンテナ部 15 を誘電体線路の中心部分に設けることにより、所望の電界強度分布を形成することができる。

【0054】実施の形態 4、また、マイクロ波の伝搬モードが円形 TE₀₁ モードである場合について次に説明する。図 7 に示すように、円形 TE₀₁ モードは誘電体線路の中心部よりもその周囲で最も高い電界強度を示し、その領域からさらに周辺部で再び電界が低くなっている。

【0055】図 8 は、実施の形態 4 のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。アンテナ部の数及び設置位置が異なる以外は、上述した実施の形態 1 と同様の構成であり、同部分に同符号を付して説明を省略する。図 8 に示すように、第 1 及び第 2 のアンテナ部 151、152 により、導波管 12 と誘電体線路 13 とが結合されている。第 1 のアンテナ部 151 は、その軸中心が導波管 12 の反射端 12e から距離 L_1 の位置に、第 2 のアンテナ部 151 は、その軸中心が導波管 12 の反射端 12e から距離 L_2 の位置に設けられており、且つ、2 つのアンテナ部 151、152 は、円板形状を有する誘電体線路 13 の中心軸に対して対称位置に設けられている。ここで、距離 $L_1 = (1/4)\lambda_g$ であり、距離 $L_2 = (5/4)\lambda_g$ である。

【0056】以上の如き構成のプラズマ処理装置では、実施の形態 1 と同様の効果を得、さらに、誘電体線路 13 の中心部から等距離だけ離れた位置 (L_1 , L_2) にアンテナ部 151、152 を設けてあることにより、誘電体線路の中心部よりもその周囲で最も高い電界強度を示すような、円形 TE₀₁ モードのための電界強度分布を得ることができる。このような中心軸対称の電界強度分布を得ることにより、マイクロ波を径方向に均一に伝搬できる。

【0057】なお、上述した実施の形態 1～4 では、アンテナとして棒状の導体を用いた場合を説明しているが、これに限るものではなく、例えば導体棒の誘電体線路側の先端にスポーク状電極、導体板のような金属を取付けたものを用いても良い。

【0058】実施の形態 5、また、導波管と誘電体線路の上面を覆う金属壁とにスリットを設け、これをアンテナ部としてマイクロ波を伝送しても良い。図 9 は、実施の形態 5 のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。また図 10 は、図 9 の X-X 線から見た横断面図である。本実施の形態のプラズマ処理装置は、導波管 12 と誘電体線路 13 とを連結する第 1、第 2 及び第 3 のアンテナ部 251、252、253 以外は、上述した実施の形態 1 の構成と同様であり、同部分に同符号を付して説明を省略する。

【0059】図 9 に示すように、誘電体線路 13 の上面に導波管 12 が着設されている。第 1、第 2 及び第 3 のアンテナ部 251、252、253 は、導波管 12 の底面及び誘電体線路 13 上の金属壁を貫通するスリットで形成されている。導波管 12 側では、第 1 のアンテナ部 251 はその中心が導波管 12 の反射端 12e から距離 L_1 の位置に、第 2 のアンテナ部 252 は距離 L_2 の位置に、第 3 のアンテナ部 253 は距離 L_3 の位置に設けられている。そして誘電体線路 13 側では、第 2 のアンテナ部 252 は誘電体線路 13 の上面における中心部に設けられ、第 1 及び第 3 のアンテナ部 251、253 は、第 2 のアンテナ部に対して対称位置に設けられている。ここで、距離 $L_1 = (1/2)\lambda_g$ 、距離 $L_2 = \lambda_g$ 、距離 $L_3 = (3/2)\lambda_g$ である。

【0060】以上の如きプラズマ処理装置を用いて、半導体基板 W にエッチング処理を施す場合は、反応室 1 内を所定の圧力に調整し、反応ガス導入口 5 から反応ガスを反応室 1 内に供給した後、マイクロ波を導波管 12 に導入する。導波管 12 内を伝搬したマイクロ波は、第 1、第 2 及び第 3 のアンテナ部 251、252、253 のスリットを介して誘電体線路 13 に導入される。このとき、夫々のアンテナ部 251、252、253 が導波管の反射端 12e から、 $n/2 \times \lambda_g$ (n は整数、 $n \geq 1$ 、 λ_g はマイクロ波管内波長) だけ離れた位置、即ち、導波管内の電流定在波の腹の位置に設けてあるの

で、マイクロ波が効率良く導波管から誘電体線路に導入

される。

【0061】以上の如く、実施の形態5のプラズマ処理装置は、実施の形態1と同様の効果を得、さらに、アンテナ部251、252、253がスリットで形成されているので、コスト低減及び製造の簡略化が図られる。

【0062】実施の形態6。次に、導波管内に誘電体を装入したプラズマ処理装置について説明する。図11は、本発明の実施の形態6のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。導波管12内には、例えばテフロン（登録商標）のような誘電体12cが装入されている。誘電体12cは導波管12の反射端12e側から管軸方向に所定の位置まで充填されており、マイクロ波発振器10側の端部は上部の厚みを薄くしたテーパ部12aが形成されている。テーパ部12aはマイクロ波の整合部反射を低減せしめるために設けてあり、その寸法は管軸方向に $n/4 \times \lambda_g$ である。但し、 n は整数、 $n \geq 1$ 、 λ_g はマイクロ波管内波長である。

【0063】導波管12内には、反射端12eから4分の1マイクロ波波長（ $\lambda_g/4$ ）だけ離れた位置に軸中

心を有してアンテナ部15が貫設されている。アンテナ部15は金属製の導体棒であり、その下端部分は誘電体線路13の上面中心に嵌設されており、導波管12内の誘電体12cと誘電体線路13とがアンテナ部15によって連結されている。なお、アンテナ部15の位置は反射端12eから $\lambda_g/4$ 離れた位置に限らず、 $(1/4 + n/2) \times \lambda_g$ （ n は整数、 $n \geq 0$ 、 λ_g はマイクロ波管内波長）だけ離れた位置に設けてあっても良い。その他の構成及びプラズマ処理の手順は、上述した実施の形態1と同様であり、その説明を省略する。

【0064】このような誘電体12cの装入により、導波管12内に誘電体が装入されていない場合と比較して、アンテナ部15近傍の電位は低くなる。このことを扁平導波管内の特性インピーダンス Z を計算することにより示す。96mm×27mmサイズの扁平導波管を用い、電界モードが矩形TE10モードのとき、特性インピーダンス Z は以下の式で求められる。

【0065】

【数1】

$$\text{特性インピーダンス } Z = \frac{\sqrt{\mu_0 / (\epsilon_r \times \epsilon_0)}}{\sqrt{1 - (f_c / f)^2}}$$

但し、 μ_0 : 真空中の透磁率

ϵ_0 : 真空中の誘電率

ϵ_r : 比誘電率

導波管内が空気するとき $\epsilon_r = 1$

導波管内がテフロンするとき $\epsilon_r = 2.1$

f : マイクロ波の周波数

f_c : マイクロ波のカットオフ周波数

導波管内が空気するとき

$$\begin{aligned} f_c &= c / 2a \\ &= 3 \times 10^{11} / 96 / 2 \\ &= 1.56 \times 10^9 \text{ Hz} \end{aligned}$$

導波管内がテフロンするとき

$$\begin{aligned} f_c &= c / 2a \\ &= 3 \times 10^{11} / 96 / \sqrt{2.1} / 2 \\ &= 1.08 \times 10^9 \text{ Hz} \end{aligned}$$

a : 導波管の管軸方向に交わる幅寸法

c : 光速

である。従って導波管内が空気である場合の特性インピーダンス Z は、

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\sqrt{4\pi \times 10^{-7} / 8.85 \times 10^{-12}}}{\sqrt{1 - (1.56 \times 10^9 / 2.45 \times 10^9)^2}} \\ &= 489 \Omega \quad \dots (1) \end{aligned}$$

[0066]

* * [数2]

また、導波管内が誘電体である場合の特性インピーダンス Z は、

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\sqrt{4\pi \times 10^{-7} / 2.1 / 8.85 \times 10^{-12}}}{\sqrt{1 - (1.08 \times 10^9 / 2.45 \times 10^9)^2}} \\ &= 289 \Omega \quad \dots (2) \end{aligned}$$

[0067] 式1) 及び式2) から明らかなように、導波管内に誘電体を装入することにより、特性インピーダンス Z (電圧/電流) は導波管内が空気るときよりも低い。これにより、投入電力 (電圧×電流) が同じ場合は

50 誘電体を装入した方が電圧が低いと言える。アンテナ部15が金属製の導体棒で形成されている場合は、導波管内を伝播するマイクロ波の電圧定在波を利用するので、アンテナ部15の引出し電位は低下する。従って、本実

施の形態では導波管12内に誘電体12cを装入してあるのでアンテナ部15の近傍の電位が低く、装置に高電力を供給した場合にしばしば生じる異常放電を防止することができる。また、マイクロ波電力を誘電体線路13に安定して供給することができる。

【0068】ところで、導波管12内が空気である場合と誘電体である場合とで、マイクロ波の管内波長は異なる。これを、管軸方向に交わる幅寸法a×高さ寸法b=96mm×27mmを有する扁平導波管の場合を例に挙げて説明する。管内波長λ_gは以下の式で求めることができ*

$$\begin{aligned}\lambda_{g_1} &= \lambda_0 / \epsilon_r / \sqrt{1 - (\lambda_0 / \epsilon_r / \lambda_c)^2} \\ &= 122 / \sqrt{(2.1) / \sqrt{1 - (122 / \sqrt{(2.1) / 192})^2}} \\ &= 94 \text{ mm}\end{aligned}$$

但し、テフロン[®]の比誘電率ε_rは、ε_r=2.1である。

【0070】また、扁平導波管としてテフロン用導波管※

$$\begin{aligned}\lambda_{g_2} &= \lambda_0 / \epsilon_r / \sqrt{1 - (\lambda_0 / \epsilon_r / \lambda_c \times \sqrt{2.1})^2} \\ &= 109 \text{ mm}\end{aligned}$$

以上により、導波管12内にテフロン（登録商標）を装入した場合のマイクロ波の管内波長は、装入していない場合よりも短くなることが判る。

【0071】実施の形態7. 次に、導波管内に誘電体を装入し、アンテナ部としてスリットを形成したプラズマ処理装置について説明する。図12は、本発明の実施の形態7のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。導波管12内には、例えばテフロン（登録商標）のような誘電体12cが装入されている。誘電体12cは導波管12の反射端12e側から管軸方向に所定位置まで充填されており、マイクロ波発振器10側の端部は上部の厚みを薄くしたテーパー部12aが形成されている。テーパー部12aはマイクロ波の整合部反射を低減せしめるために設けてあり、その寸法は管軸方向にn/4×λ_gである。但し、nは整数、n≥1、λ_gはマイクロ波管内波長である。

【0072】導波管12の底面にはアンテナ部として機能する複数のスリットが形成されている。第1～第5のアンテナ部261、262、263、264、265は、誘電体線路13上の金属壁を貫通する態様で、反射端12eから順に(1/2)×λ_g、λ_g、(3/2)×λ_g、2λ_g及び(5/2)×λ_gだけ離れた位置にスリット中心を有して設けられている。そして、第3のアンテナ部263は誘電体線路13の上面における中心部に設けられ、第1及び第5のアンテナ部261、265並びに第2及び第4のアンテナ部262、264は、第3のアンテナ部263に対して対称位置に設けられている。図中、距離L₁=(1/2)λ_g、距離L₂=λ_g、距離L₃=(3/2)λ_g、距離L₄=2λ_g、距離L₅=(5/2)λ_gである。その他の構成及びプラズマ処理の手順は、上述した実施の形態5と同様であり、その説明を省略する。

＊る。

$$\lambda_{g_1} = \lambda_0 / \sqrt{1 - (\lambda_0 / \lambda_c)^2}$$

$$\text{但し、真空波長}\lambda_0 = 3 \times 10^{11} / 2.45 \times 10^9 = 122 \text{ mm}$$

$$\text{カットオフ波長}\lambda_c = 2 \times a = 192 \text{ mm}$$

【0069】まず、導波管12内が空気の場合は、

$$\lambda_{g_1} = \lambda_0 / \sqrt{1 - (122 / 192)^2}$$

$$= 158 \text{ mm}$$

そして、導波管12内がテフロン（登録商標）の場合

は、

$$\lambda_{g_2} = \lambda_0 / \epsilon_r / \sqrt{1 - (\lambda_0 / \epsilon_r / \lambda_c)^2}$$

$$= 122 / \sqrt{(2.1) / \sqrt{1 - (122 / \sqrt{(2.1) / 192})^2}}$$

$$= 94 \text{ mm}$$

※（幅寸法a=a/√2.1）を用いてテフロンを装入した場合は、

【0073】なお、本実施の形態のアンテナ部は、上述した位置に限るものではないが、反射端12eから(n/2)×λ_g（nは整数、n≥1、λ_gはマイクロ波管内波長）だけ離れた位置に設けてあることが望ましい。

【0074】このような誘電体12cの装入により、上述したように、導波管12内に誘電体が装入されていない場合と比較して導波管内の特性インピーダンスZは低く、投入電力（電圧×電流）が同じ場合は誘電体を装入した方が電流が高い。これにより導波管内の電圧定在波の腹の位置では電圧値が低下しており、同時に導波管壁面の電流定在波の腹の位置では電流値が増大している。アンテナ部がスリットで形成されている場合は、導波管壁面に形成されるマイクロ波の電流定在波を利用するので、スリットから漏れ出る電界は増加する。本実施の形態では各スリットを電流定在波の腹の位置に設けてあるので、導波管内に誘電体を装入していない場合と比較して、スリット開口の長辺間に生じる電位差は高くなり、同じ電力で効果的に高密度プラズマを生成維持できる。

【0075】なお、上述した実施の形態1～5では、半導体基板Wにエッチング処理を行なう場合を例に挙げて説明しているが、これに限るものではなく、プラズマ処理であれば、アッシング処理、CVD処理等を施す場合についても同様の効果を得ることができる。

【0076】また、上述した実施の形態1～5では、誘電体線路及びマイクロ波導入窓は円板形状を有する場合について説明しているが、これに限るものではなく、矩形板形状等のものを用いても良い。但し、反応室の形状（例えば直方体殻形状）に適合させることが好ましい。

【0077】

【発明の効果】以上のように、本発明においては、導波管と誘電体線路とを平行に配し、且つ線路方向に交わる方向にアンテナ部を介して結合しているので、両者各部

の寸法の相違に起因するマイクロ波の整合のための領域を省略でき、装置が小型化される。また、導波管内に誘電体を装入した場合は、高電力を供給した際に生じ易い異常放電を防止でき、加えて、誘電体を装入した導波管と誘電体線路と貫通するスリット状のアンテナ部を設けた場合は、導波管、誘電体線路間の電位差が大きくなり、効率良く高密度プラズマを生成できる。

【0078】さらに、マイクロ波を誘電体線路の中央部から導入し、周辺部に向かって伝搬させるので、大口径の反応室内に均一にプラズマを生ぜしめることが可能となり、試料の処理精度が向上する。さらにまた、反応室内のプラズマの状態に応じて、誘電体線路とマイクロ波導入窓との間の間隙寸法を可変調整することにより、プラズマの点火を容易にし、またその後、プラズマを均一に発生させることができ、効率の良いプラズマ処理が可能である等、本発明は優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図2】図1のII-II線から見た横断面図である。

【図3】導波管と誘電体線路との結合部分を拡大して示した断面図である。

【図4】本発明の実施の形態2のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図5】本発明の実施の形態3のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図6】本発明の実施の形態3の他のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図7】マイクロ波の伝搬モードによる誘電体線路中の電界強度分布を示すグラフである。

【図8】本発明の実施の形態4のプラズマ処理装置の構造

* 造を示す縦断面図である。

【図9】本発明の実施の形態5のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図10】図9のX-X線から見た横断面図である。

【図11】本発明の実施の形態6のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図12】本発明の実施の形態7のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

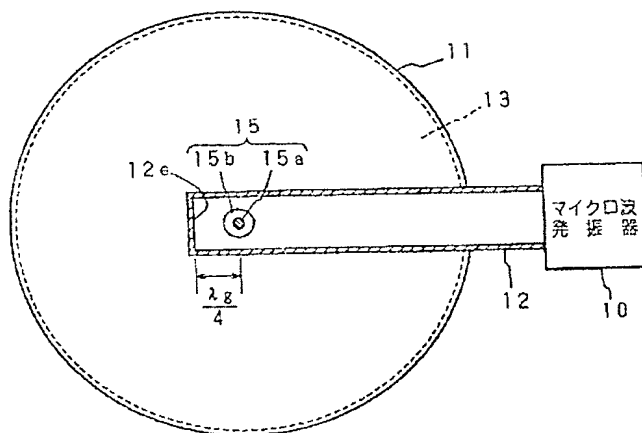
【図13】従来のプラズマ処理装置の構造を示す縦断面図である。

【図14】図13の平面図である。

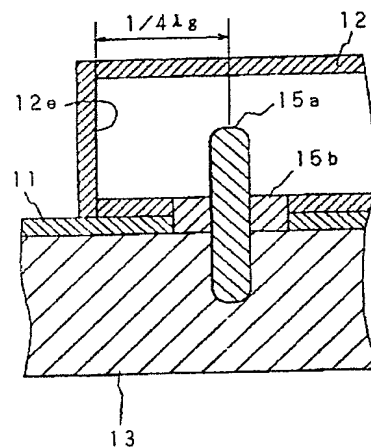
【符号の説明】

- 1 反応室
- 2 エアギャップ
- 4, 4a マイクロ波導入窓
- 7 試料台
- 10 マイクロ波発振器
- 11 マイクロ波導入室
- 11a 昇降部
- 12 導波管
- 12e 反射端
- 13, 13a 誘電体線路
- 15 アンテナ部
- 15a 導体棒
- 15b 碍子
- 16 昇降駆動装置
- 151, 251, 261 第1のアンテナ部
- 152, 252, 262 第2のアンテナ部
- 253, 263 第3のアンテナ部
- 264 第4のアンテナ部
- 265 第5のアンテナ部

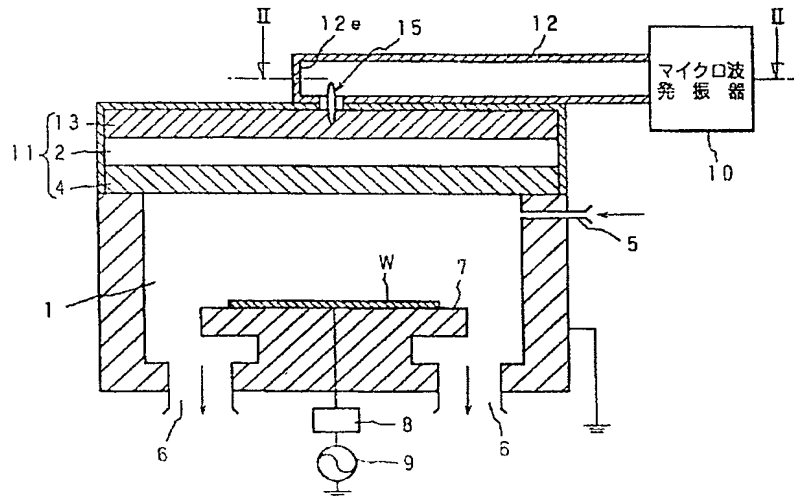
【図2】



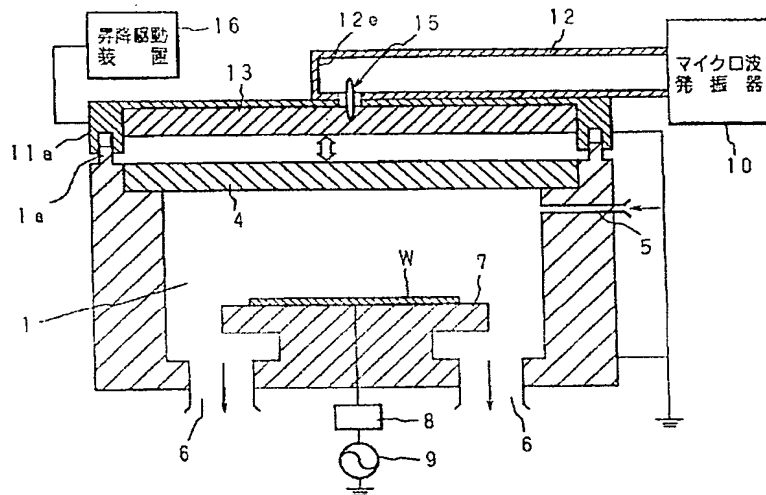
【図3】



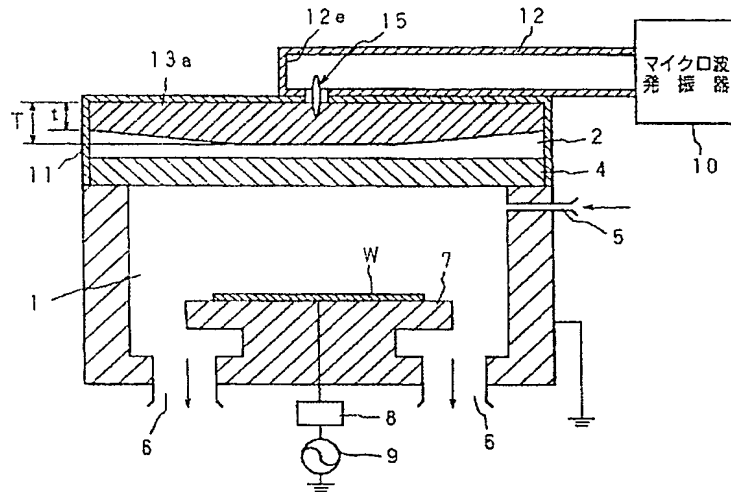
【図 1】



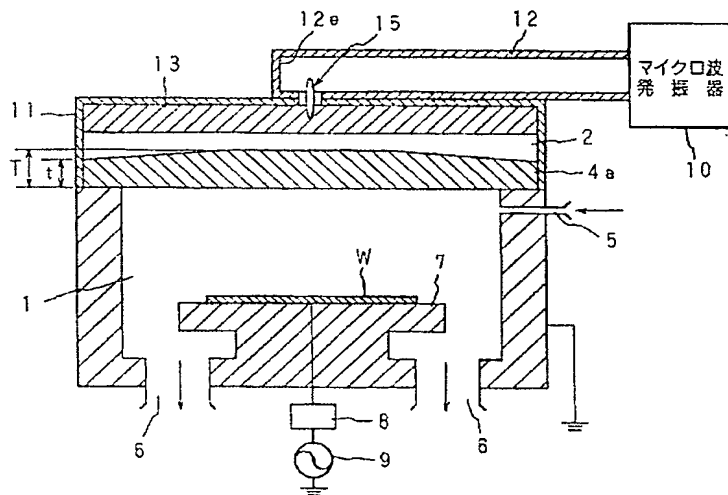
【図 4】



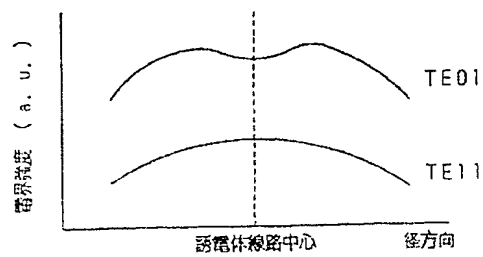
【図5】



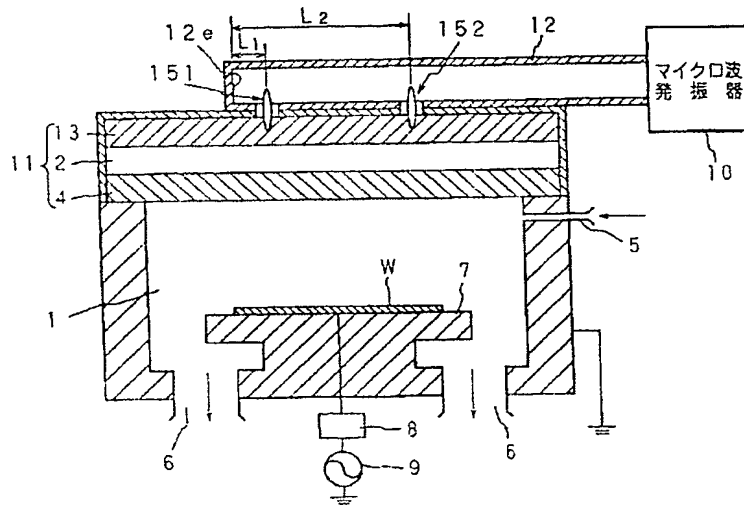
【図6】



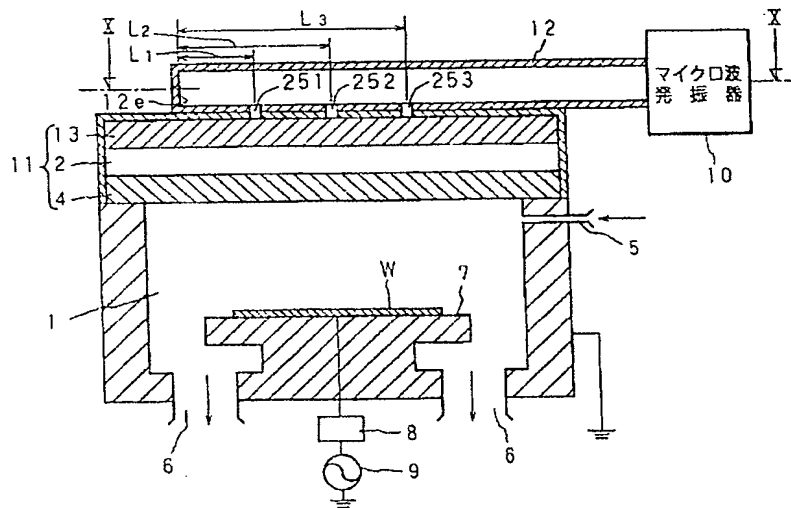
【図7】



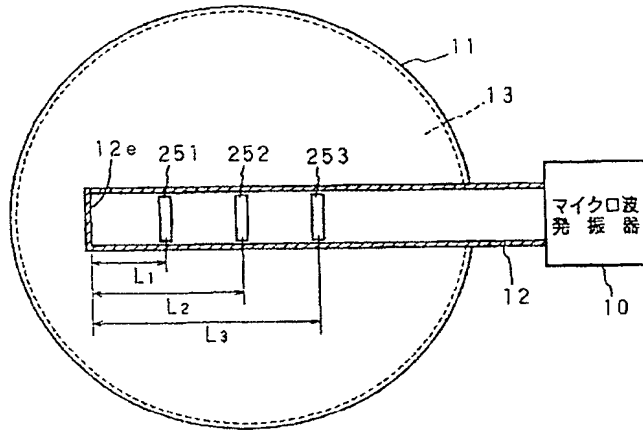
【図8】



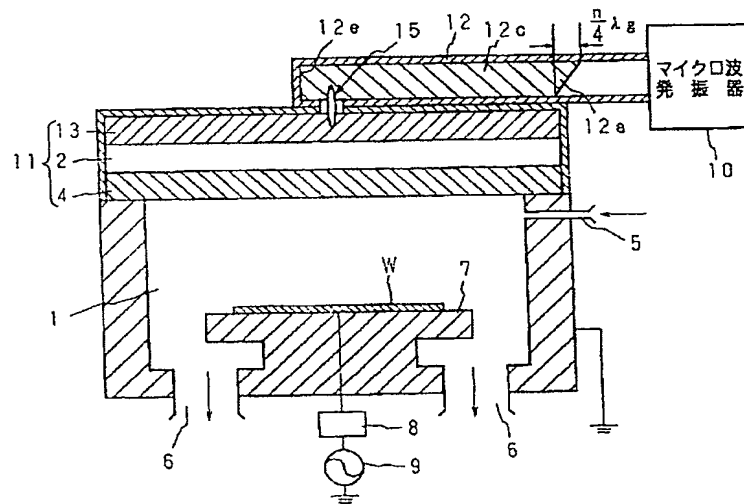
【図9】



【図 10】



【図 11】



【図 1 4】

